

рис.2. Спектр излучения высокочастотной накачки в импульсно-периодическом режиме

В результате экспериментов нами были исследованы различные лампы высокого давления, низкого давления, а также с разными газовыми наполнениями.

Проведены измерения спектральных параметров излучения на разных частотах при разных давлениях и с разными газами.

В связи с этим нами была рассмотрена накачка высокочастотными импульсами тока твердотельного лазера на гранате.

Приведены характерные осциллограммы тока и напряжения на лампе. Проанализированы сравнительные характеристики данной лампы при ВЧ накачке и питании постоянным током.

Показана перспективность использования высокочастотного источника питания для накачки твердотельных лазеров.

Список публикаций:

[1].А.М.Вальшин, Р.Ф. Тавлыкаев, Г.М. Михеев, С.М. Першин Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке, инженерная физика №3, 2015, стр.42-49.

Изотопический эффект при высокодозной имплантации ионов бора в поверхность кремния

Фролова Валерия Петровна^{1,2}

Бугаев Алексей Сергеевич¹, Окс Ефим Михайлович^{1,2}, Савкин Константин Петрович¹, Юшков Георгий Юрьевич¹

¹Институт сильноточной электроники СО РАН

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Frolova Valeria 90@mail.ru

Пучки ионов бора широко применяются в технологиях ионной имплантации кремниевых пластин для легирования кремния при производстве полупроводниковых приборов. В таких технологиях дозы внедренных ионов в поверхность кремния составляют 10^{12} - 10^{14} ион/см², а энергии ионов варьируются от 1 до 10^3 кэВ. Пучки ионов получают в имплантерах, установках для имплантации кремниевых пластин диаметром до 450 мм. В настоящее время в имплантерах для получения пучков ионов бора чаще всего используют ионные источники типа Фримана [1], в которых плазма генерируется при ионизации борсодержащих газообразных веществ, например, трифторида бора BF₃. Такой метод генерации имеет две проблемы. Во-первых, в газовой среде активного BF₃ катод разрушается, во-вторых, BF₃ - высокотоксичен. В работе [2] показана возможность использования вакуумного дугового разряда с катодом из чистого бора. Но, поскольку удельное сопротивление чистого бора при нормальных условиях составляет уровня единиц МОм·см, для стабильной работы источника требуется, нагрев катода до температуры уровня 1000 К [3]. Альтернативой является использование в качестве материала катода, проводящего (десятки мОм·см) гексаборида лантана LaB₆ [4], при этом общая доля ионов бора в пучке соответствует их доле в материале катода и составляет около 85 % [5].

Имплантация образцов кремниевых пластин КЭФ-2,5 (100) легированных фосфором с его объемной концентрацией единицы 10^{15} ат./см³ осуществлялась вакуумным дуговым ионным источником типа Mevva [6,7] с катодом из LaB₆ при энергии ионов пучка 20 кэВ и остаточном давлении уровня 10^{-6} Торр. Выделение

изотопов однозарядных ионов бора с массами 10 и 11 а.е.м. - $^{10}\text{B}^+$ и $^{11}\text{B}^+$ осуществлялось с помощью $\pi/2$ поворотного магнита с ионопроводом радиусом 350 см. Для сохранения идентичных условий имплантации скорость набора дозы изотопами бора была одинаковой и составляла $2,4 \cdot 10^{12}$ ион/(см²·сек). Перед имплантацией образцы бора очищались от оксидной пленки в 0,5 % растворе плавиковой кислоты. Образцы подвергались высокодозной ионной имплантации при дозах внедренных ионов бора от 10^{14} до 10^{16} ион/см². Сразу после проведения имплантации измерялись их вольтамперные характеристики (ВАХ) с помощью специально разработанного устройства для измерения ВАХ на базе стабилизированного источника постоянного напряжения GPR-1820HD с шагом 0,01 В и прибора Fluke 287 с точностью измерения постоянного тока 0,8 мкА. Устройство было изготовлено с использованием изоляторов из керамики ХС22 с сопротивлением более 1 ГОм и контактов площадью 12 мм² покрытых упругим материалом на основе вспененного графита - графлексом с суммарным сопротивлением менее 10 мкОм. Давление на контакты во всех измерениях составляло 2 МПа.

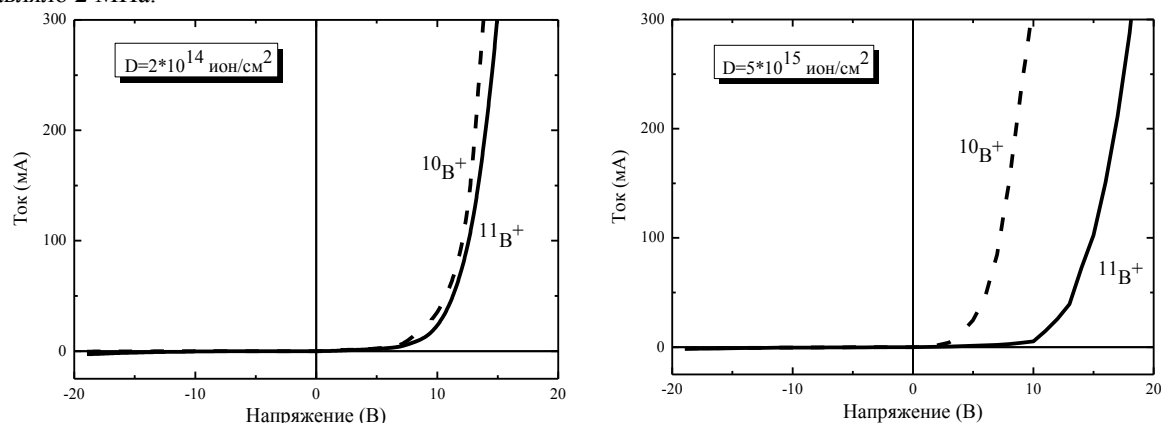


рис. 1. ВАХ образцов, имплантированных ионами изотопов бора $^{10}\text{B}^+$ и $^{11}\text{B}^+$ с дозами $2 \cdot 10^{14}$ (слева) и $5 \cdot 10^{15}$ ион/см² (справа) при энергии ионов бора 20 кэВ. Диапазон токов положительной полярности (прямой ток диода) соответствует положительной полярности напряжения, приложенной к имплантированной стороне образца.

ВАХ имплантированных образцов различными ионами изотопов бора для двух доз имплантации представлены в качестве примера на рис. 1. Они соответствуют ВАХ диода с р-п-переходом. Для всех измеренных ВАХ напряжение порога проводимости при имплантации ионами $^{10}\text{B}^+$ было меньше, чем для случая $^{11}\text{B}^+$, а при одинаковых напряжениях на образце прямой ток в первом случае был выше, чем во втором. В этом и заключался изотопический эффект при имплантации различными изотопами бора кремния, легированного фосфором. Эффект наблюдался более явно при больших дозах имплантации.

Появление диодных свойств у имплантированных кремниевых образцов связано с формированием вблизи поверхности несимметричного р'-п-перехода, поскольку, по измерениям вторичной ионной масс-спектрометрии, имплантация ионов изотопов бора с указанными дозами приводит к появлению в поверхностном слое с характерной толщиной около 200 нм области с объемной концентрацией примеси р-типа (бор), превышающей объемную дозу примеси п-типа (фосфор) в 10^3 - 10^5 раз. Наличие изотопического эффекта в диодных свойствах, имплантированных образцов связано с различием в профилях распределения имплантированных изотопов бора. При одинаковой энергии более легкий ион $^{10}\text{B}^+$ имеет больший проективный пробег в веществе и глубже проникает вглубь поверхности кремния и, при прочих равных условиях, коэффициент распыления поверхности кремния у изотопа $^{11}\text{B}^+$ на 7 % выше, чем у $^{10}\text{B}^+$, поэтому профиль распределения концентрации $^{11}\text{B}^+$ расположен ближе к поверхности, чем профиль $^{10}\text{B}^+$. Кроме этого, изотопический эффект может быть связан с различием в свойствах самих изотопов бора внутри легированного слоя, но данный вопрос нуждается в детальном теоретическом исследовании с привлечением современных квантово-механических представлений.

Работа была поддержана грантом Российского научного фонда № 16-19-10034.

Список публикаций:

- [1] Freeman J.H. // Nucl. Instrum. Methods. 1963. V. 22. P. 306-316.
- [2] Williams J.M., Klepper C.C., Chivers D.J., Hazelton R.C., Freeman J.H. // AIP Conf. Proc. 2008. V. 1066. P. 469-472.
- [3] Gushenets V.I., Oks E.M., Savkin K.P., Vizir A.V., Yushkov G.Yu., Hershcovitch A., Kulevoy T.V. // RSI. 2010. T. 81. № 2. C. 02B303.
- [4] Frolova V.P., Gushenets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Y. // IEEE TPS. V. 45. No. 8. P. 2070-2074.
- [5] Nikolaev A.G., Oks E.M., Vizir A.V., Yushkov G.Yu., Frolova V.P. // RSI. 2016. V. 87. No. 2. P. 02A902(1-3).
- [6] Gushenets V.I., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Rempe N.G. // Laser and Particle Beams. 2003. V. 21. № 2. P. 123-138.
- [7] Bugaev A.S., Vizir A.V., Gushenets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Burachevsky Yu.A., Burdovitsin V.A., Osipov I.V., Rempe N.G. // Laser and Particle Beams. 2003. V. 21. № 2. P. 139-156.